

微細画素CMOSイメージセンサのダイナミックレンジ 拡大とノイズ低減に関する研究

著者	田中 長孝
号	54
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4354号
URL	http://hdl.handle.net/10097/61443

氏 名	た なか なが たか 田 中 長 孝
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成22年 3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 技術社会システム専攻
学 位 論 文 題 目	微細画素 CMOS イメージセンサのダイナミックレンジ拡大とノイズ低減に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 須川 成利
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 須川 成利 東北大学教授 伊藤 隆司 東北大学客員教授 大見 忠弘 (未来科学技術共同研究センター)

論 文 内 容 要 旨

イメージセンサは携帯電話やデジタルカメラなどの民生機器に用いられる素子であり、イメージエリアを一寸に保ったまま画素数を増加させることが求められている。このため、急速な勢いで画素サイズの微細化が進んでいる。微細画素では、信号電荷を蓄積するための容量が減少するため、ダイナミックレンジが低下するという問題点があった。また微細画素では画素に入射するフォトン数が減少するため、ノイズをより一層低減させないセンサの S/N が劣化するという問題があった。本論文は、これらの問題を解決するために、新たにダイナミックレンジ拡大とノイズ改善のための要素技術を開発し、その有効性を示すために、実際に CMOS イメージセンサに適用した例をまとめたものである。

第一に、画素サイズの微細化に伴って顕著になった、画素内のゲート電極配線での光回折現象について述べ、光回折を回避可能な新規の画素レイアウトの提案を行った。実際にこのレイアウトを適用したセンサを試作し、光回折によるクロストークノイズの改善を確認した。また、画素サイズがさらに縮小した場合の新規レイアウトの有効性について Red/Green/Blue の各色画素別に述べ、より微細な画素におけるレイアウト設計指針を示した。特に Blue 画素については、ゲート電極配線膜厚の薄膜化が必須であることを示した。

第二に、画素サイズの微細化にともなって顕著となった、Gr/Gb 感度比の劣化現象について述べ、これを回避可能な千鳥配列型画素共有構成の提案を行った。実際にこの構成を適用したセンサを試作し、Gr/Gb 感度比の改善を確認した。また、新規に提案した画素構成は、半導体製造プロセスにおける合わせズレが起きたときの影響が小さいことを示した。

第三に、画素サイズの微細化によって顕著となった画素フローティングディフュージョンのダイナミックレンジ低下について述べ、より効果の高い新規の昇圧方式を提案した。実際にこの構成を適用したセンサを試作し、ダイナミックレンジ拡大効果を確認した。また、新規に提案した昇圧方式は、画素駆動パルスの波形バラツキの影響が小さいことを示した。

開発した要素技術を適用した $1.75\mu\text{m}$ 画素の CMOS イメージセンサを試作した。図 1 は、試作したセンサのチップ写真、表 1 は特性一覧表である。

暗時ランダムノイズを 2.6 電子と低ノイズに保ちながら、一方で飽和電子数を 7700 電子にすることが出来ている。また、残像は検知限界以下であった。なお、FD 昇圧を行わない動作とすると、残像が発生した。

また、色温度 3200K（波長の長い光の割合が多く、Gr/Gb 感度比が 100% からズレやすい）において、Gr/Gb 感度比が理想の 100% に極めて近い 99.7% を達成した。なお、図示しないが、分光感度測定をおこない、どの波長でも Gr/Gb 感度比が理想の 100% に近い値であることを確認している。

以上により、 $2\mu\text{m}$ 以下の微細画素の基本技術を確立した。

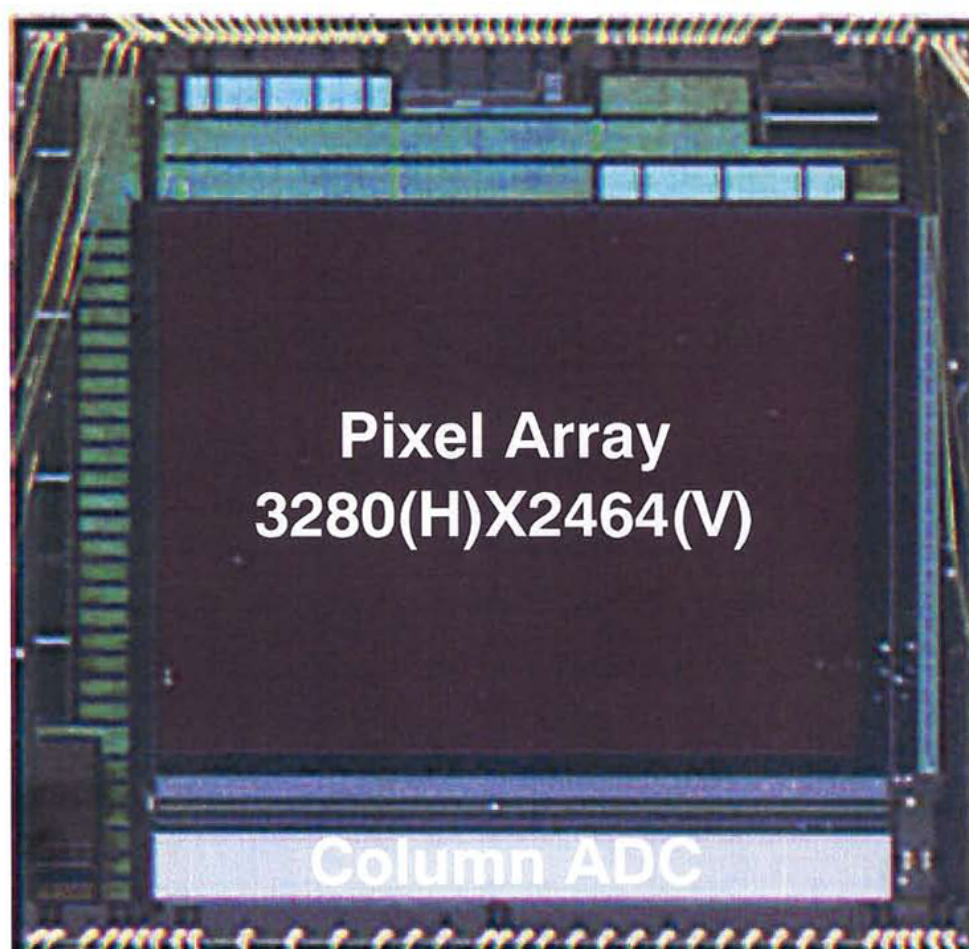


図 1 1/2.5 インチ 8M センサのチップ写真

表 1 1/2.5 インチ 8 Mセンサの特性一覧表

Process	2P 3M CMOS
Optical Format	1/2.5-inch
Effective Pixels	3280(H) X 2464(V)
Chip Size	8.13(H)mm X 7.81(V)mm
Pixel Size	1.75(H)um X 1.75(V)um
Supply Voltage	1.8V(Digital)/2.8V(Analog)
G-Sensitivity@Vsig	1.4V/lx Sec@3200K IR650
Gr/Gb Sensitivity Ratio	99.7%@3200K F2.8 IR650
Image Lag	undetectable
Pixel Capacity	7700e-@60deg
Random Noise	2.6e-@RT

論文審査結果の要旨

携帯電話やデジタルカメラなどの民生機器に用いられるイメージセンサは、小型化・高解像度化のために画素領域サイズを一定または縮小しつつ画素数を増加させることが求められている。このため、急速な勢いで画素サイズの微細化が進んでいる。微細画素では、光が回折して隣接画素に混合する光学クロストークが増加するという問題や、信号電荷を蓄積するための容量が減少するためダイナミックレンジが低下するという問題が生じている。本論文は、これらの問題を解決するために、新たに光学クロストークノイズ低減とダイナミックレンジ拡大のための要素技術を開発し、その有効性を示すために実際に CMOS イメージセンサを試作した結果をまとめたものであり、全文 4 章からなる。

第 1 章は、序論である。

第 2 章では、まず、画素サイズの微細化にともなって顕著になる、画素内のゲート電極配線での光回折現象について論じ、光回折による画素間クロストークを回避するために赤色画素のフォトダイオード開口全面をゲート電極で覆う新たな画素構造の提案を行っている。実際にこの構造を適用した CMOS イメージセンサを試作し、光回折起因のクロストークノイズの改善を確認している。また、さらに画素サイズが縮小した場合の本画素構造の発展性についても論じている。特に青色画素については、ゲート電極配線膜厚の薄膜化を行えば本構造が使用できることを明らかにしている。次に、画素サイズの微細化にともなって顕著となる、隣接する 2 つの緑画素 Gr、Gb の感度の不一致現象について論じ、半導体製造プロセスにおける合わせズレが起きたときにもこれを回避することができる新規な千鳥配列型画素共有構造の提案を行っている。実際にこの構造を適用した CMOS イメージセンサを試作し、Gr、Gb の感度が一致することを確認している。さらに、画素サイズの微細化にともなって顕著となる、画素フローティングディフュージョン部の信号ダイナミックレンジ低下について論じ、フローティングディフュージョン部の電圧を昇圧してダイナミックレンジを拡大する新しい昇圧方式を提案している。実際にこの構成を適用した CMOS イメージセンサを試作し、ダイナミックレンジ拡大効果を確認している。また、新規に提案した昇圧方式は、画素駆動パルスの波形バラツキの影響が小さいことも明らかにしている。これらは、極めて重要な成果である。

第 3 章では、第 2 章で論じた要素技術をすべて適用した画素サイズ $1.75\mu\text{m}$ 角の CMOS イメージセンサを試作し、光学クロストークノイズを低減した結果 Gr/Gb 感度比 $100\pm 2\%$ を達成し、また、ダイナミックレンジを拡大した結果飽和電子数 7700 電子の性能を達成したことを明らかにしている。これは、極めて有用な成果である。

第 4 章は、結論である。

以上要するに本論文は、画素サイズの微細化によって顕著になった、光学クロストークノイズの低減とダイナミックレンジの拡大のための要素技術を開発し、その有効性を示すために実際に CMOS イメージセンサを試作した結果をまとめたものであり、半導体電子工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。